

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-314205

(43) Date of publication of application : 25.10.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/343

H01L 33/00

(21)Application number : 2001-121309

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 19.04.2001

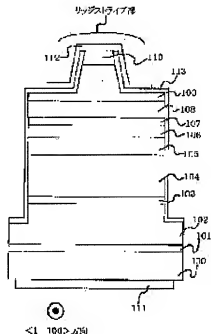
(72)Inventor : TSUDA YUZO  
ITO SHIGETOSHI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND OPTICAL DEVICE USING THE SAME, AND LIGHT EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve light emission efficiency and light emission intensity in a light emitting element wherein a nitride semiconductor containing As, P or Sb is used in a light emitting layer.

**SOLUTION:** This light emitting element is provided with a substrate 100, n-type nitride semiconductor layers 102 to 105 and p-type nitride semiconductor layers 107 to 110 that are formed on the substrate 100, and a light emitting layer 106 arranged between the n-type semiconductor layers 102 to 105 and p-type semiconductor layers 107 to 110. A well layer comprising the light emitting layer 106 is made of nitride semiconductor containing N and element X (X: As, P or Sb), and the nitride semiconductor of the well layer is represented by a formula,  $[NX/(NN+NX) \times 100\%$  (NX: the number of the element X; NN: the number of N). The atomic percentage of the nitride semiconductor is 30% or less and the thickness of the well layer is 0.4nm or more and 4.8nm or less.



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-314205  
(P2002-314205A)

(43) 公開日 平成14年10月25日(2002.10.25)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	メモード(参考)
H 0 1 S 5/343	6 1 0	H 0 1 S 5/343	6 1 0 5 F 0 4 1
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 7 3
			L

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2001-121309(P2001-121309)

(22) 出願日 平成13年4月19日(2001.4.19)

(71) 出願人 000005049

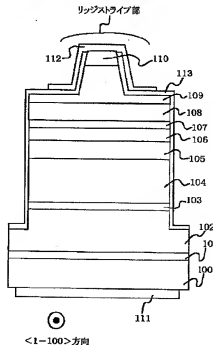
シャープ株式会社  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号(72) 発明者 津田 有三  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内(72) 発明者 伊藤 茂裕  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内(74) 代理人 100064746  
弁理士 深見 久郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子ならびにそれを用いた光学装置および発光装置

(57) 【要約】

【課題】 As、PまたはSbを含む窒化物半導体を発光層に用いた発光素子について、その発光効率または発光強度を向上させる。

【解決手段】 当該発光素子は、基板100と、基板上に形成された、n型窒化物半導体層102~105およびp型窒化物半導体層107~110と、n型半導体層102~105とp型半導体層107~110との間に配置された発光層106とを備える。発光層106を構成する井戸層は、Nおよび元素X(ここで、元素Xは、As、PまたはSb)を含む窒化物半導体からなり、該井戸層の窒化物半導体において、式  $\{N_x / (N_x + N_y)\} \times 100$  (%) (式中、 $N_x$ は元素Xの数を表し、 $N_y$ はNの数を表す) で表される原子百分率は30%以下であり、かつ該井戸層の厚みは0.4nm以上4.8nm以下である。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、  
前記基板上に形成された、 $n$ 型窒化物半導体層および  $p$  型窒化物半導体層と、前記  $n$  型窒化物半導体層と前記  $p$  型窒化物半導体層との間に配置された井戸層とを備え、  
前記井戸層は、少なくとも  $N$  および元素  $X$  (ここで、元素  $X$  は、 $As$ 、 $P$  および  $Sb$  よりなる群から選ばれる 1 種類以上の元素である) を含む窒化物半導体からなり、  
前記井戸層の前記窒化物半導体において、式  $(N_i / (N_i + N_j)) \times 100$  (%) (式中、 $N_i$  は前記元素  $X$  の数を表し、 $N_j$  は前記  $N$  の数を表す) で表される原子百分率は 30 % 以下であり、かつ前記井戸層の厚みが 0.4 nm 以上 4.8 nm 以下であることを特徴とする、窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記井戸層が、 $Si$ 、 $O$ 、 $S$ 、 $C$ 、 $Ge$ 、 $Zn$ 、 $Cd$  および  $Mg$  よりなる群から選ばれる 1 種類以上の元素を、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  以下の濃度で含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記井戸層に接する障壁層を備え、前記障壁層の厚みが 3 nm 以上 20 nm 以下であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】 前記井戸層の数が 8 以下であることを特徴とする、請求項 1-3 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】 前記基板が窒化物半導体基板であることを特徴とする、請求項 1-4 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】 前記基板が擬似窒化物半導体基板であることを特徴とする、請求項 1-4 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 7】 請求項 1-6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子を有することを特徴とする、光学装置。

【請求項 8】 請求項 1-6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体発光素子を有することを特徴とする、発光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化物半導体発光素子ならびにそれを用いた光学装置および発光装置に関し、特に、発光効率の高い窒化物半導体発光素子ならびにそれを用いた光学装置および発光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウム系化合物半導体に 5 族元素の  $As$ 、 $P$  あるいは  $Sb$  を添加して結晶を形成すると、小さい格子定数の変化に対してバンドギャップが大きく変化する。この現象を利用して、発光層を構成する窒化ガリウム系化合物半導体への  $As$ 、 $P$  あるいは  $Sb$  の添

加量を変えれば、発光波長を変えることができる。たとえば、特開平 10-270804 号公報は、 $a$  面サファイア基板上に  $\text{InGaN}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}_x$  -  $\text{GaN}$  歪量子井戸活性層 (各膜厚 5 nm、3 周期) を有する半導体レーザ装置、および  $a$  面サファイア基板上に  $\text{InGaN}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}_x$  -  $\text{GaN}$  歪量子井戸活性層 (各膜厚 5 nm、5 周期) を有する半導体レーザ装置を開示する。

## 【0003】

10 【発明が解決しようとする課題】  $\text{GaNAs}$  結晶、 $\text{GaNP}$  結晶または  $\text{GaNSb}$  結晶で構成される発光層では、その電子とホールの有効質量を従来の  $\text{InGaN}$  結晶と比較して小さくすることができると考えられる。これは、少ないキャリア密度でレーザ発振のための反転分布が得られること (レーザ発振閾値電流値の低減化) を示唆する。しかし、窒化物半導体からなる発光層に、たとえば  $As$  を含有させると、発光層は、窒素の割合の高い領域と  $As$  の割合の高い領域に容易に分離し得る (以下、この現象を「濃度分離」と呼ぶ)。さらに、窒素の割合の高い領域は 6 方晶系に、 $As$  の割合の高い領域は立方晶系に分離が進行し得る。このような結晶系の異なる分離 (以下、「結晶系分離」と呼ぶ) は、その結晶性の悪化から発光効率の低下を招き得る。このような結晶系分離は、 $As$  だけでなく、 $P$  または  $Sb$  が窒化物半導体発光層に含有される場合にも生じ得る。従って、このような結晶系分離を抑制し、発光効率 (発光強度) を向上させることが望まれた。

【0004】 本発明の目的は、 $As$ 、 $P$  および  $Sb$  の少なくともいずれかを含む窒化物半導体発光層に用いた発光素子について、その性能を向上させ得る構造を明らかにし、発光効率または発光強度が高められた発光素子、あるいは閾値電流密度の低い発光素子を提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明による窒化物半導体発光素子は、基板と、基板上に形成された、 $n$  型窒化物半導体層および  $p$  型窒化物半導体層と、 $n$  型窒化物半導体層と  $p$  型窒化物半導体層との間に配置された井戸層とを備える。本発明による素子において、井戸層は、少なくとも  $N$  および元素  $X$  (ここで、元素  $X$  は、 $As$ 、 $P$  および  $Sb$  よりなる群から選ばれる 1 種類以上の元素である) を含む窒化物半導体からなり、井戸層の窒化物半導体において、式  $(N_i / (N_i + N_j)) \times 100$  (%) (式中、 $N_i$  は元素  $X$  の数を表し、 $N_j$  は  $N$  の数を表す) で表される原子百分率は 30 % 以下であり、かつ井戸層の厚みは 0.4 nm 以上 4.8 nm 以下である。このような井戸層の組成および厚みにより、閾値電流密度の低減または発光強度の向上を図ることができ。

【0006】 本発明による素子において、井戸層は、 $Si$ 、 $O$ 、 $S$ 、 $C$ 、 $Ge$ 、 $Zn$ 、 $Cd$  および  $Mg$  よりなる

群から選ばれる1種類以上の元素を、 $1 \times 10^{11} / \text{cm}^2$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^2$ 以下の濃度で含むことが好ましい。このような不純物元素の添加により、井戸層の結晶性を向上させることができ、閾値電流密度のさらなる低減あるいは発光強度のより一層の向上を図ることが可能である。

【0007】本発明による素子は、典型的に、井戸層に接する障壁層を備える。この場合、障壁層の厚みは3nm以上20nm以下であることが好ましい。そのような厚みの障壁層は、井戸層中に発生した微小な結晶系分離が他の井戸層に伝播することを遮蔽し得る。

【0008】本発明による素子は、1つまたは複数の井戸層を有することができる。好ましい本発明の態様において、たとえば、井戸層の数は8以下である。8以下の適当な数の井戸層を有する窒化物半導体発光素子は、より低い閾値電流密度あるいはより高い発光強度を有し得る。

【0009】本発明による素子において、基板は、窒化物半導体基板、または後述するような擬似窒化物半導体基板であることが好ましい。

【0010】本発明による素子に窒化物半導体基板を使用することにより、井戸層中に発生する結晶系分離を軽減することが可能である。ここで、窒化物半導体基板とは、窒化物半導体からなり、その上に素子を形成するための基板として適当な厚みを有するものを指す。窒化物半導体基板は、種々の結晶成長法によって製造された窒化物半導体結晶を適当な大きさに加工したものを含むほか、他の結晶材料上に窒化物半導体結晶膜を成長させ、次いで、他の結晶材料を除くことにより、得られるものも含む。典型的に、窒化物半導体基板は、少なくとも $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, x+y+z=1$ ) で構成された基板である。また、窒化物半導体基板は、窒化物半導体基板を構成している窒素元素の約10%以下が、六方晶系の結晶形が維持される範囲内で、As、PおよびSbの元素群のうち少なくともどれか1つの元素で置換されたものでも構わない。さらに、窒化物半導体基板には、Si、O、Cl、S、C、Ge、Zn、Cd、MgおよびBeの不純物群のうち、少なくともどれか1つの不純物が添加されていても構わない。窒化物半導体基板にn型導電性を付与するため、上記不純物群のうち、Si、OおよびClのいずれかが特に好ましい。基板への不純物の添加量は、 $3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下が好ましい。

【0011】本明細書において、擬似窒化物半導体基板は、窒化物半導体結晶膜が他の結晶材料上に成長させられた構造を有する基板を指す。ここで、典型的に、窒化物半導体は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, x+y+z=1$ ) で表されるものであり、特にGaNが好ましい。擬似窒化物半導体基板、特に擬似GaN基板を利用することによって、井戸層中に

発生しうる結晶系分離を軽減することが可能である。たとえば、擬似窒化物半導体基板は、後述するように、図2に示するような擬似GaN基板、および図3(a)に示するような擬似GaN基板がある。前者の擬似GaN基板は、窒化物半導体結晶膜と、それが形成するための種基板と、窒化物半導体結晶膜がその上に直接的に成長しない成長抑制膜とで少なくとも構成される。後者の擬似GaN基板は、エッチングにより基板もしくは窒化物半導体膜に溝を形成し、その後、溝を窒化物半導体結晶膜で覆うことにより形成される。

【0012】本発明による素子は、典型的に、井戸層からなる発光層、または、井戸層とそれに接する障壁層から構成される発光層を有する。たとえば、発光層が単一量子井戸構造を有する場合、発光層は、井戸層のみ、あるいは障壁層/井戸層/障壁層から構成される。たとえば、発光層が多重量子井戸構造を有する場合、発光層は、障壁層/井戸層/障壁層.../井戸層/障壁層から構成され、あるいは、井戸層/障壁層/井戸層.../障壁層/井戸層から構成される。ここで、井戸層のバンドギャップエネルギーの方が障壁層のバンドギャップエネルギーよりも小さいという関係が成立している。

【0013】また、本発明により、上記の窒化物半導体発光素子を有する光学装置または発光装置が提供される。

【0014】なお、以下、本明細書において、式 $\text{N}_1 / (\text{N}_1 + \text{N}_2) \times 100 (\%)$  (式中、 $\text{N}_1$ は元素Xの数を表し、 $\text{N}_2$ はNの数を表す) で表される原子百分率を「元素Xの原子分率」と表記する。

【0015】

30 【発明の実施の形態】<本発明における井戸層の厚みの意味について>本発明では、元素Xの原子分率が30%以下でありかつ0.4nm以上4.8nm以下厚みを有する井戸層によって、閾値電流密度の低減(たとえば約6%減)または発光強度の向上(最大約20%増)を図ることができる。井戸層の厚厚が4.8nmよりも厚くなると量子井戸効果によるキャリアの閉じ込め単位が高くなり過ぎて発光効率が低下してしまうために好ましくない。また、井戸層の厚厚が4.8nmよりも厚くなると、窒化物半導体発光素子の閾値電流密度が増加あるいは発光強度が低下し始めるために好ましくない。井戸層の厚厚が4.8nmよりも厚くなると発光素子の特性が低下し始める理由は定かではないが、井戸層に含まれる元素Xの原子分率が30%以下であっても、井戸層中に元素Xによる濃度分離が生じていて、井戸層の厚厚が増すにつれてこの濃度分離の領域が徐々に拡大し、発光素子特性に悪影響をもたらす程度まで元素Xによる濃度の格差が広がる可能性が考えられる。あるいは、井戸層内に微小な結晶系分離の領域が生成されていて、井戸層の厚厚が増すにつれて結晶系分離の領域が拡大し、発光素子特性に悪影響をもたらす程度まで結晶系分離が進行

する可能性も考えられる。ここで、濃度分離とは、井戸層に含まれる元素Xの、濃度の高い部分と低い部分が、井戸層内で混在する状態を意味する。また、結晶系分離とは、井戸層中に含まれる元素Xによって、井戸層内に立方晶系と六方晶系が混在する状態を意味する。

【0016】元素Xによる、微小な結晶系分離や多少の濃度分離は、発光素子特性にそれほど影響をもたらさない。濃度分離の場合、むしろ、ある程度の濃度分離は発光素子特性を向上させる働きを有する。しかし、過剰な濃度分離や過剰な結晶系分離は、発光素子特性を悪化

させる得る。従って、本発明に係る元素Xを含む井戸層の層厚は、上述してきた観点から好適な層厚であると考えられる。

【0017】本発明において、元素Xを含む井戸層の層厚は、さらに好ましくは2nm以上4.8nm以下である。井戸層の層厚が2nm以上になると、窒化物半導体発光素子の特性を向上させる程度の、元素Xによる濃度分離が形成され得るために好ましい。

【0018】特に、本発明による発光素子の発光層がGaN障壁層を含む場合、上述した井戸層の層厚による影響が顕著であった。この場合、より具体的な発光層の構成は、GaNAs井戸層/GaN障壁層、GaNP井戸層/GaN障壁層、GaNAsP井戸層/GaN障壁層、InGaNAs井戸層/GaN障壁層、InGaNAsP井戸層/GaN障壁層、またはInGaNAsP井戸層/GaN障壁層である。これらの発光層の構成において、井戸層の層厚による影響が顕著になる理由は定かではないが、GaN障壁層を利用すると、その他の障壁層と比較して、本発明に係る井戸層の層厚以外では、元素Xによる濃度分離等のために、井戸層と障壁層との間の界面急峻性が損なわれ易いためではないかと考えられる。

【0019】<本発明における井戸層の元素Xの添加量について>本発明において、As、PおよびSbよりなる群から選ばれた1種類以上の元素Xの原子分率は30%以下であり、好ましくは15%以下である。元素Xの原子分率が15%よりも高くなると、井戸層内の領域ごと

くに元素Xの原子分率が異なる濃度分離が次第に大きくなり始め、さらに元素Xの原子分率が30%よりも高くなると、今度は濃度分離から結晶系分離に移行し始める。そして、井戸層中の結晶系分離を起こした領域の比率が、およそ50%以上を占めると、元素Xを含む窒化物半導体発光素子の特性が大きく低下する。また、たとえば、発光層が多重量子井戸構造を有する場合、このような結晶系分離は井戸層と障壁層との間の界面急峻性を大きく損ない、発光半値幅の増大（発光素子における色度の増大）や、発光強度の減少をもたらす。

【0020】元素Xの原子分率の下限値は0.01%以上とすることができ、好ましくは0.1%以上である。

元素Xの原子分率が0.01%よりも小さくなると、井戸層に元素Xを含むことの効果（元素Xを含まない井戸層と比較して、閾値電流密度の低減または発光強度の向上が得られる効果）が得られにくくなり得る。一方、元素Xの原子分率が0.1%以上になると、井戸層に元素Xを含むことの効果が顕著に現れ始めると好ましい。

【0021】<本発明による素子の発光波長について>本発明による素子の井戸層がGaNXからなる場合、その発光波長は、GaNX井戸層中の元素Xの原子分率を調整することによって調整することができる。たとえば、紫外の380nm近傍の発光波長を得るため、GaN<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>の場合はx=0.005、GaN<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>の場合はy=0.01、GaN<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>の場合はz=0.02とすることができる。青色の410nm近傍の発光波長を得るため、GaN<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>の場合はx=0.02、GaN<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>の場合はy=0.03、GaN<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>の場合はz=0.01とすることができる。また、青色の470nm近傍の波長を得るため、GaN<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>の場合はy=0.03、GaN<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>の場合はy=0.06、GaN<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>の場合はz=0.02とすることができる。さらに、緑色の520nm近傍の波長を得るため、GaN<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>の場合はx=0.05、GaN<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>の場合はy=0.08、GaN<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>の場合はz=0.03とすることができる。さらにまた、赤色の650nm近傍の波長を得るため、GaN<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>の場合はx=0.07、GaN<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>の場合はy=0.12、GaN<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>の場合はz=0.04とすることができる。上記原子分率の近傍でGaNX井戸層を作製すれば、ほぼ目的とする発光波長を得ることが可能である。

【0022】また、本発明による素子の井戸層がInGaNXからなる場合、その発光波長は、InGaNX井戸層中の、元素Xの原子分率とInの原子分率を調整することによって調整することができる。ここで、Inの原子分率とは、InGaNXにおけるN<sub>a</sub>/(N<sub>a</sub>+N<sub>x</sub>)（N<sub>a</sub>はInの数を表し、N<sub>x</sub>はGaの数を表す）から計算される値である。

【0023】たとえば、InGaNX結晶の元素XがAsである場合の発光波長と元素X（As）の原子分率との関係が表1に示される。また、InGaNX結晶の元素XがPである場合の発光波長と元素X（P）の原子分率との関係が表2に示される。表1または表2で示された元素Xの原子分率の近傍でInGaNX井戸層が作製されると、ほぼ目的とする発光波長を得ることが可能である。

【0024】

【表1】

		InGaNX							
		Inの原子分率							
		1%	2%	5%	10%	20%	35%	50%	
発光素子	350nm	0.9	0.4	0.1					
	400nm	1.2	1.1	0.8	0.2				
	410nm	1.5	1.5	1.3	0.6				
	430nm	3.4	3.9	3.9	9.4	1.4	0.1		
	520nm	4.8	4.5	4.1	3.8	2.5	1.2	0.1	
	650nm	7	6.8	6.5	6.9	4.8	3.4	2.3	

上段は、InGa<sub>0.99</sub>Nの、元素Xの原子分率(%)を示している。ここで、元素XはAlである。

【0025】

\* \* 【表2】

InGaNX

		Inの原子分率							
		1%	2%	5%	10%	20%	35%	50%	
発光素子	350nm	0.8	0.6	0.1					
	400nm	2	1.8	1.5	0.4				
	410nm	2.5	2.3	1.6	1				
	470nm	5.5	5.3	4.7	3.8	2.2	0.1		
	520nm	7.8	7.3	6.7	5.8	4.1	1.8	0.1	
	650nm	11.6	11.4	10.7	9.7	7.9	5.5	3.6	

上段は、InGa<sub>0.99</sub>Nの、元素Xの原子分率(%)を示している。ここで、元素XはPである。

【0026】<本発明による素子の井戸層に添加される不純物について>本発明による素子の井戸層に、Si、O、S、C、Ge、Zn、CdおよびMgよりなる群から選ばれる少なくとも1種類の不純物を、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下の添加量で添加することによって、素子の発光強度が強くなり得、さらに、素子の閾値電流密度も低減される。たとえば、本発明による素子の井戸層にSiを添加すると、Siを添加しない場合と比較して、発光強度が1.1倍から1.3倍程度強くなった。特に、窒化物半導体基板以外の基板（以後、異種基板と呼ぶ）、たとえばサファイア基板の上に本発明による素子構造を成長させた場合、前述の不純物を添加したことによる効果が顕著であった。異種基板上に窒化物半導体発光素子を形成した場合、結晶中の結晶欠陥密度が多いこと（たとえば、結晶欠陥密度をエッチピット密度で評価した場合、 $4 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以上に相当する）を鑑みると、上記の効果は、不純物が井戸層に添加されたことによって、井戸層中の結晶性が向上したこと起因するのではないかと考えられる。不純物の添加量が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、そのような発光強度のさる向上は得られにくく、不純物の添加量が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ よりも多いと、不純物を添加したことによる結晶欠陥密度の増大（発光強度の低下）が懸念され始める。

【0027】<本発明による素子の障壁層の層厚について>本発明による素子の発光層が井戸層と障壁層から構成される場合、その障壁層の層厚は3nm以上20nm以下が好ましい。さらに好ましくは、障壁層の層厚は、井戸層の層厚と等しいかそれ以上である。障壁層の層厚が3nmよりも薄くなると、あるいは20nmよりも厚くなると、閾値電流密度のさらなる低減、あるいは発光強度のさらなる向上の効果が得られにくくなる。一方、

障壁層の層厚が、井戸層の層厚と等しいか、あるいはそれ以上であることによって、井戸層内に生成された微小な結晶系分離が、障壁層を隔てたその他の井戸層に伝播し、結晶系分離が増大することを抑制し得る。より効果的に結晶系分離の伝播を遮断するためには、障壁層の層厚は井戸層の層厚の1.5倍以上であることが好ましい。

【0028】特に障壁層がGaNで構成される場合、障壁層の厚みを上述した適当な範囲に設定することによる効果は、より顕著に発揮される。障壁層がGaNで構成される場合、井戸層の適正な結晶成長温度とGaN障壁層のそれとが異なるため、GaN障壁層の結晶性が低下することによって、井戸層内に生成された微小な結晶系分離が、GaN障壁層を隔てたその他の井戸層に伝播しやすくなるのではないかと考えられる。そして、上述したようにGaN障壁層の厚みを適当な範囲に設定することにより、そのような結晶系分離の伝播が効果的に食い止められると考えられる。

【0029】本発明による素子において、元素Xを含む井戸層とGaN障壁層から構成される多重量子井戸構造を形成することができる。障壁層がGaNで構成される場合、そのGaN障壁層の層厚は、3.2nm以上17nm以下であることがさらに好ましい。

【0030】<本発明に係る素子の井戸層数について>本発明に従い、Ga<sub>0.99</sub>N<sub>0.01</sub>井戸層（層厚4.2nm）/GaN障壁層（8nm）を含む多重量子井戸構造を有する窒化物半導体レーザ素子を形成した場合、井戸層の層数とレーザ閾値電流密度との関係、および、窒化物半導体レーザ素子を作製した基板への依存性は以下のとおりであった。

【0031】窒化物半導体レーザ素子の閾値電流密度は、基板に依存せずに、井戸層の層数が8以下のときに

閾値電流密度が減少し始め、井戸層の層数が2以上6以下のときに閾値電流密度が低くて好ましかった。さらに、閾値電流密度は、窒化物半導体基板（たとえばGaN基板）上に成長された窒化物半導体レーザ素子の方が、異種基板上に成長されたそれよりも、全ての井戸層の層数において低かった。なお、擬似GaN基板を用いた場合も、井戸層の層数と閾値電流密度との関係は、窒化物半導体基板の場合とほぼ同様であった。

【0032】上述したGaN<sub>0.95</sub>P<sub>0.05</sub>井戸層（層厚4.2nm）/GaN障壁層（8nm）を含む多重量子井戸構造の代わりに、元素X（P）の原子分率が0.03以外の場合でも、あるいは異なる元素Xを含む井戸層を使用しても、あるいは異なる層厚であっても、本発明の要件を満足する発光層で上記と同様の効果を得ることが可能である。同様の効果を発揮する発光層には、たとえば、GaNAs井戸層/GaN障壁層を含む発光層、GaNAsP井戸層/GaN障壁層を含む発光層、InGaNAs井戸層/GaN障壁層を含む発光層、InGaNPP井戸層/GaN障壁層を含む発光層、InGaNAsP井戸層/GaN障壁層を含む発光層などがある。

【0033】さらに、本発明に従い、GaN<sub>0.95</sub>P<sub>0.05</sub>井戸層（3.2nm）/GaN障壁層（6nm）を含む多重量子井戸構造を有する窒化物半導体発光ダイオード素子を形成した場合、井戸層の層数と発光強度との関係、および、窒化物半導体発光ダイオード素子を作製した基板への依存性は以下のとおりであった。

【0034】窒化物半導体発光ダイオード素子の発光強度は、基板に依存せずに、井戸層の層数が2以上8以下のとき、単一量子井戸構造のそれと比較して強かった。特に、井戸層の層数が3以上5以下のときに発光強度が強くて好ましかった。さらに、発光強度は、窒化物半導体基板（たとえばGaN基板）上に成長された窒化物半導体発光ダイオード素子の方が、異種基板上に成長されたそれよりも、全ての井戸層の層数において強かった。なお、擬似GaN基板を用いた場合の、井戸層の層数と発光強度との関係は、窒化物半導体基板の場合とほぼ同様であった。

【0035】上述したGaN<sub>0.95</sub>P<sub>0.05</sub>井戸層（3.2nm）/GaN障壁層（6nm）の代わりに、元素X（P）の原子分率が0.06以外のものであっても、あるいは異なる元素Xを含むものであっても、あるいは異なる層厚であっても、本発明の要件を満足する発光層であれば上記と同様の効果を得ることが可能である。そのような発光層には、たとえば、GaNAs井戸層/GaN障壁層を含む発光層、GaNAsP井戸層/GaN障壁層を含む発光層、InGaNAs井戸層/GaN障壁層を含む発光層、InGaNPP井戸層/GaN障壁層を含む発光層、InGaNAsP井戸層/GaN障壁層を含む発光層などがある。また、スーパーミッネット

ダイオード素子についても前述と同様の効果を得ることが可能である。

【0036】<本発明による窒化物半導体発光素子を成長する基板について>本発明者らは、本発明に係る素子の井戸層に発生する、元素Xによる結晶系分離が、井戸層が成長される基板によって変化するを見出した。本発明者らの知見によれば、井戸層に含まれる元素Xは、半導体結晶中に発生した結晶欠陥付近に偏析し易かった。このことから、元素Xによる結晶系分離は結晶欠陥付近に生成されやすいと考えられる。従って、基板を選択することによって半導体結晶中の結晶欠陥密度が減少し、かくして、井戸層内に発生する元素Xによる結晶系分離が減少したのではないかと考えられる。結晶系分離は微小であれば発光素子特性をそれほど低下させないが、結晶系分離が増大するにつれて発光素子特性も低下するため、この結晶系分離を抑制する事は肝要である。

【0037】本発明者らの検討結果によると、本発明による窒化物半導体発光素子に利用される基板のうち、最も好ましい基板は、GaN基板（窒化物半導体基板の一例）であった。GaN基板上に成長した窒化物半導体結晶の欠陥密度は、エッチピット密度における測定方法によると、 $5 \times 10^4 / \text{cm}^2$ 以下であった。これは、従来の窒化物半導体発光素子の基板として使用された、サファイア基板やSiC基板（異種基板の例）のエッチピット密度（ $4 \times 10^4 / \text{cm}^2$ 以上）よりも小さい値である。ここで、エッチピット密度は、燐酸：硫酸＝1：3のエッチング液（温度250℃）にエビウエハ（発光素子）を10分間浸し、該ウエハの表面に形成されたピット密度を測定することにより得ることができ、このエッチピット密度はエビウエハ表面のピット密度を測定しているわけではなく、しかしながら、エッチピット密度が高ければ発光層中の結晶欠陥密度も同時に高くなるため、エッチピット密度は、発光層中の結晶欠陥密度が高いかどうかの指標と成り得る。

【0038】次に好ましい基板は、擬似GaN基板（擬似窒化物半導体基板の一例）である。擬似GaN基板の製造方法等は、以下で詳細に述べる。擬似GaN基板上に成長した窒化物半導体膜のエッチピット密度は、最も少ないエッチピット密度の領域で $7 \times 10^4 / \text{cm}^2$ 以下であった。これは、GaN基板上に成長した窒化物半導体膜のそれと近い値であった。ただし、擬似GaN基板は、エッチピット密度の低い領域と高い領域が存在しているため、GaN基板に比べて発光素子の歩留まりの点において劣る傾向にあった。しかしながら、擬似GaN基板は、GaN基板と比較して、面積で大面積のものを容易に得る事ができる。

【0039】<本発明による窒化物半導体レーザの実施の形態>

実施例1

本発明による窒化物半導体レーザー素子の一例を図1に示す。図1に示す素子は、C面(0001) n型Ga<sub>0.99</sub>N基板100、低温Ga<sub>0.99</sub>Nバッファ層101、n型Ga<sub>0.99</sub>N層102、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド防止層103、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層104、n型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層105、発光層106、p型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nキャリアブロック層107、p型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層108、p型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層109、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層110、n電極111、p電極112、SiO<sub>2</sub>誘電体膜113を含む。上記n型窒化物半導体層と上記p型窒化物半導体層の間に配置される発光層106は、後述するように、厚さ4nmのGa<sub>0.99</sub>N<sub>0.99</sub>P<sub>0.01</sub>井戸層と厚さ10nmのGa<sub>0.99</sub>N障壁層が3周期で積層された構造を有する。

【0040】図1に示す素子は以下のプロセスによって製造された。まず、MOCVD(有機金属気相成長法)装置に、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板100がセットされ、5族原料のNH<sub>3</sub>(アンモニア)と3族原料のTMGa(トリメチルガリウム)またはTEGa(トリエチルガリウム)が用いられ、550℃の成長温度で低温Ga<sub>0.99</sub>Nバッファ層101が100nm成長された。次に、1050℃の成長温度で上記原料にSiH<sub>4</sub>(シラン)が添加され、n型Ga<sub>0.99</sub>N層102(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )が3μm形成された。続いて、成長温度が700℃〜800℃程度に下げられ、3族原料の1つであるTMIn(トリメチルインジウム)またはTEAl(トリエチルアルミニウム)の3族原料が用いられ、1.2μm厚のn型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層104(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )が成長され、続いてn型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層105(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )が0.1μm成長された。その後、基板温度が800℃に下げられ、P原料としてPH<sub>3</sub>またはTBP(トープチルホスフィン)が添加され、3周期の、厚さ4nmのGa<sub>0.99</sub>N<sub>0.99</sub>P<sub>0.01</sub>井戸層と厚さ10nmのGa<sub>0.99</sub>N障壁層から構成される発光層(多重量子井戸構造)106が、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順序で成長された。その際、障壁層と井戸層の両方にSiH<sub>4</sub>(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )が添加された。障壁層と井戸層、または井戸層と障壁層との間に、1秒以上180秒以内の成長中断を行っても良い。このことにより、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少する。

【0041】井戸層にAsを添加する場合はAsH<sub>3</sub>またはTBAs(トープチルアルシン)を、井戸層にSbを添加する場合はTMSb(トリメチルアンチモン)またはTESb(トリエチルアンチモン)をそれぞれ添加すると良い。また、井戸層を形成する際に、N原料とし

て、NH<sub>3</sub>以外にN<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(ヒドラジン)あるいはジメチルヒドラジンが用いられるも構わない。

【0042】次に、基板温度が再び1050℃まで昇温されて、厚み20nmのp型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nキャリアブロック層107、0.1μmのp型Ga<sub>0.99</sub>N光ガイド層108、0.5μmのp型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層109と0.1μmのp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層110が成長された。p型不純物としてMg(ETCp2Mg:ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム)が $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ で添加された。p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層110のp型不純物濃度は、p電極112の形成位置に向かって、p型不純物濃度を多くした方が好ましい。このことによりp電極形成によるコンタクト抵抗が低減する。また、p型不純物であるMgの活性化を妨げているp型層中の残留水素を除去するために、p型層成長中に微量の酸素を混入させてもよい。

【0043】この様にして、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層110を成長後、MOCVD装置のリアクター内が全窒素キャリアガスとNH<sub>3</sub>の雰囲気に変えられ、60℃/分で温度が下げられた。基板温度が800℃に達した時点で、NH<sub>3</sub>の供給量が停止され、5分間、この基板温度で待機してから、室温まで降下された。この基板保持温度は650℃から900℃の間が好ましく、待機時間は、3分以上10分以下が好ましかった。また、降下温度の到達速度は、30℃/分以上が好ましかった。このようにして得られた成長膜をラマン測定によって評価した結果、従来の窒化物半導体で利用されているp型化アニールを行わなくとも、成長後すでにp型の特性を示していた(Mgが活性化していた)。また、p電極形成によるコンタクト抵抗も低減していた。加えて、従来のp型化アニールを組み合わせれば、Mgの活性化率がより向上して好ましかった。

【0044】続いて、前述の結晶成長で作製されたエビウエハをMOCVD装置から取り出し、レーザー素子にするためのプロセス工程が以下のように行われた。

【0045】n電極111は、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板100の裏面側からHf/Alの順序で形成された。このn電極材料の他に、Ti/Al、Ti/MoまたはHf/Au等が用いられるも構わない。n電極にHfを用いるとn電極のコンタクト抵抗が下がるため好ましい。

【0046】p電極部分は、窒化物半導体結晶の<1-100>方向に沿ってストライプ状にエッチングされ、図1のリップストライプ部が形成された。このリップストライプ部は、ストライプ幅が2μmになるように作製された。その後、SiO<sub>2</sub>誘電体膜113が蒸着され、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層110が露出されて、Pd/Mo/Auの順序で蒸着されてp電極112が形成された。このp電極材料の他に、Pd/Pt/Au、Pd/AuまたはNi/Auが用いられるも構わない。

【0047】最後に、Ga<sub>0.99</sub>N基板のc面を開利用し



て、共振器長500 $\mu\text{m}$ のフアブリ・ペロー共振器が作製された。共振器長は一般に300 $\mu\text{m}$ から1000 $\mu\text{m}$ が好ましい。該共振器のミラー端面は、GaN基板のM面（ $\{1-100\}$ 面）が端面になるように形成された。このレーザ共振器の帰還手法以外に、一般に知られているDFB（Distributed Feedback）、DBR（Distributed Bragg Reflector）が用いられても構わない。フアブリ・ペロー共振器のミラー端面が形成された後、該ミラー端面に70%の反射率を有する $\text{SiO}_2$ と $\text{TiO}_2$ の誘電体膜が交互に蒸着され、誘電体多層反射膜が形成された。この誘電体材料以外に、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ が誘電体多層反射膜として用いられても構わない。

【0048】このようにして、窒化物半導体レーザ素子が作製された。以上に示す素子において、さらに次に示すようなバリエーションが可能である。

【0049】低温GaNバッファ層101は、 $\text{Al}_x\text{G}_{1-x}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）で表される低温バッファ層であれば良い。一方、低温バッファ層自体が形成されなくても構わない。しかしながら、使用するGaN基板の表面モフォロジーが好ましくない場合、低温 $\text{Al}_x\text{G}_{1-x}\text{N}$ バッファ層（ $0 \leq x \leq 1$ ）を挿入した方が、表面モフォロジーが改善され好ましい。ここで、低温バッファ層は、約450℃～600℃の成長温度で形成されたバッファ層を指す。これらの成長温度範囲で作製したバッファ層は多結晶もしくは非晶質である。

【0050】 $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{N}$ クラッド防止層103の代わりに、 $\text{In}$ 組成比が0.07以外のものを使用してても構わない。一方、 $\text{InGaIn}$ クラッド防止層自体がなくても構わない。しかしながら、クラッド層とGaN基板との格子不整合が大きくなる場合は、 $\text{InGaIn}$ クラッド防止層を使用した方が好ましい。

【0051】上述した発光層は、隔壁層で始まり隔壁層で終わる構成（図7（a））であったが、井戸層で始まり井戸層で終わる構成（図7（b））であってもよい。また、発光層の層数（井戸層の層数）は、前述の3に限らず、8以下であれば閾値電流密度が低かった。特に2以上6以下のとき閾値電流密度が低くて好ましい。

【0052】井戸層に不純物を添加することによって、発光強度をより強くすることができ、閾値電流密度をさらに低減することができた。しかし、上述した素子において、井戸層と隔壁層の両層に $\text{Si}$ を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の濃度で添加する代わりに、隔壁層のみに不純物を添加しても良いし、両層ともに不純物を添加しなくても構わない。なお、素子の基板として窒化物半導体基板を用いる場合、異種基板と比較して窒化物半導体結晶中の結晶欠陥密度が少ないため、不純物を添加することによって井戸層の結晶性が向上されるよりも、不純物の添加による井戸層中の光吸収（利得損失）の方が大きくなる可能性がある。従って、基板が窒化物半導体基板である場合、井戸層に添加すべき不純物の添加量は $1 \times 10^{17}$

～ $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ が好ましい。

【0053】上述した素子において、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ キャリアブロック層107の代わりに、 $\text{Al}$ 組成比が0.2以外のものを使用してても構わないし、キャリアブロック層自体が無くても構わない。しかしながら、キャリアブロック層を設けた方が閾値電流密度は低かった。これは、キャリアブロック層が発光層中にキャリアを閉じ込める働きがあるからである。キャリアブロック層の $\text{Al}$ 組成比が高くなると、キャリアの閉じ込めが強く好ましい。一方、キャリアの閉じ込めが保持される範囲で $\text{Al}$ 組成比を低くすると、キャリアブロック層内のキャリア移動度が大きくなり電気抵抗が低くなると好ましい。

【0054】p型クラッド層とn型クラッド層として、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 結晶の代わりに、 $\text{Al}$ 組成比が0.1以外の $\text{AlGaIn}$ 3元結晶を使用してもよい。 $\text{Al}$ の混晶比が高いと発光層とのエネルギーギャップ差および屈折率差が大きくなり、キャリアや光が発光層に効率良く閉じ込められ、レーザ発振閾値電流密度の低減が図れる。また、キャリアおよび光の閉じ込めが保持される範囲で $\text{Al}$ 組成比を低くすると、クラッド層でのキャリア移動度が大きくなり、素子の動作電圧を低くすることができる。

【0055】 $\text{AlGaIn}$ クラッド層厚は、0.7 $\mu\text{m}$ ～1.5 $\mu\text{m}$ が好ましい。このことにより、垂直横モードの単結化と光閉じ込め効率が増し、レーザの光学特性の向上とレーザ閾値電流密度の低減が図れる。

【0056】クラッド層は $\text{AlGaIn}$ 3元混晶に限らず、 $\text{AlInGaIn}$ 、 $\text{AlGaNP}$ 、または $\text{AlGaInAs}$ 等の4元混晶であっても良い。さらに、p型クラッド層は、電気抵抗を低減するために、p型 $\text{AlGaIn}$ 層とp型GaN層からなる超格子構造、またはp型 $\text{AlGaIn}$ 層とp型 $\text{InGaIn}$ 層からなる超格子構造であってもよい。

【0057】上述した素子において、GaN基板のC面（0001）の代わりに、該基板の主面となる面方位として、A面（ $\{1-120\}$ ）、R面（ $\{1-102\}$ ）、M面（ $\{1-100\}$ ）または（ $\{1-101\}$ ）面を用いても良い。また、以上の面方位から2度以内のオフ角度を有する基板であれば表面モフォロジーが良好である。

【0058】また上述した素子において、GaN基板以外の窒化物半導体基板を用いても構わない。窒化物半導体レーザの場合、垂直横モードの単結化のためにはクラッド層よりも屈折率の低い層が該クラッド層の外側に接している方が好ましく、 $\text{AlGaIn}$ 基板を用いるのが好適である。

【0059】上述したプロセスにおいて、MOCVD装置による結晶成長方法の代わりに、分子線エピタキシー法（MBE）、ハイドライド気相成長法（HVPE）を使用してもよい。

【0060】n電極111の形成にあたり、n型Ga<sub>0.9</sub>N基板100の裏面側から電極形成が行われたが、ドライエッチング法を用いて、エピウエハの表側からn型Ga<sub>0.9</sub>N層102を露出して、n電極が形成されても構わない(図4参照)。

#### 【0061】実施例2

図1に示す素子において、Ga<sub>0.9</sub>N基板100を図2に示す擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200または図3(b)に示す擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200aに置き換え、図4に示すように片面側からn電極が形成し、それ以外は実施例1と同様にし

て、窒化物半導体レーザ素子を得た。

【0062】図2に示す擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200は、種基板201、ならびに、その上に形成された低温バッファ層202、n型Ga<sub>0.9</sub>N膜203、成長抑制膜204およびn型Ga<sub>0.9</sub>N厚膜205から構成されている。種基板201は、n型Ga<sub>0.9</sub>N厚膜205を成長するための母材として使用される。成長抑制膜204は、窒化物半導体結晶膜が下地から直接成長するのを防止する膜である。成長抑制膜204を介して結晶成長を行うことにより、特定の結晶方位への成長を選択的に進めることができる。なお、少なくとも種基板、成長抑制膜およびGa<sub>0.9</sub>N膜を有しているものであれば、図2に示す構成以外の擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板も使用できる。

【0063】図3(b)に示す擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200aは、種基板201、ならびに、その上に形成された低温バッファ層202、第1のn型Ga<sub>0.9</sub>N膜203a、および第2のn型Ga<sub>0.9</sub>N膜203bから構成されている。図3(a)は、擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200aを作製するための、途中の工程を表し、図3(b)は、擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200aの完成図を表している。擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200aは、図3(a)に示すように、まず、種基板201上に、低温バッファ層202および第1のn型Ga<sub>0.9</sub>N膜203aを積層した後、ドライエッチング法またはウェットエッチング法によってGa<sub>0.9</sub>N膜203aの表面を清状に加工する。その後、再び結晶成長装置に搬送し、第2のn型Ga<sub>0.9</sub>N膜203bを積層して、擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200aを完成する(図3(b))。図3(a)では、第1のn型Ga<sub>0.9</sub>N膜203aの途中までしか溝を形成していないが、低温バッファ層202あるいは種基板201に至るまで溝を形成しても構わない。

【0064】このようにして作製された擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200または擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板200a上に、窒化物半導体結晶を成長すると、該窒化物半導体結晶のエッチピット密度( $7 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 以下)は、異種基板上に成長した場合のエッチピット密度( $4 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 以上)と比べて低かった。ただし、擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板には、エッチピット密度の低い部分(結晶欠陥密度の低い部分に該当する)とそうでない部分が混在する。図2に示す擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板において、成長抑制膜の幅の中央直上206と成長抑制膜が形成されていない部分の幅の中央直上2

07では、エッチピット密度が相対的に高く、それ以外の部分ではエッチピット密度が低い。図3(b)に示す擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板では、溝の幅の中央直上208と溝が形成されていない部分(丘)の幅の中央直上209では、エッチピット密度が相対的に高く、それ以外の部分ではエッチピット密度が低い。つまり、図2の206と207の間の中央、図3(b)においては、208と209の間の中央付近がエッチピット密度がより低く、206、207、208および209の部分では逆にエッチピット密度が高い(結晶欠陥密度が高い)。従って、擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板上に窒化物半導体発光素子を形成する場合、上記のエッチピット密度の低い領域に形成するとよい。

【0065】種基板201の具体例として、C面サファイア、M面サファイア、A面サファイア、R面サファイア、GaAs、ZnO、MgO、Ge、Si、Ga<sub>0.9</sub>N、6H-SiC、4H-SiC、3C-SiC等が挙げられる。また、成長抑制膜204の具体例として、SiO<sub>2</sub>膜、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜、TiO<sub>2</sub>膜、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜等の誘電体膜、またはタンガステン膜等の金属膜が挙げられる。

【0066】種基板上にサファイア等の電気絶縁材料が使用される場合、図4に示されるように片面側からn電極が形成される。一方、種基板としてSiC基板やSi基板を使用する場合、これらは導電性基板であるため、図1のように基板の裏面側からn電極を形成しても構わない。ただし、この場合、低温バッファ層202の代わりに、高温バッファ層を用いる必要がある。ここで、高温バッファ層は、700℃以上の成長温度で作製するバッファ層を指す。また、高温バッファ層は、少なくともAlを含有していなければならない。なぜならば、高温バッファ層中に少なくともAlを含有しなければ、SiC基板上またはSi基板上に結晶性の良い窒化物半導体膜を作製することができないからである。最も好ましい高温バッファ層の構成はInAlNである。

【0067】種基板(六方晶系の場合)の主面となる面方位は、C面{0001}、A面{11-20}、R面{1-102}、M面{1-100}もしくは{1-101}面が好ましい。また、上記面方位から2度以内のオフ角度を有する基板であれば表面モフォロジーは良好である。

【0068】上記擬似Ga<sub>0.9</sub>N基板を用いて、図4に示すような窒化物半導体発光素子(半導体レーザ素子)が形成される。図4に示す素子は、基板300、低温Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層101、n型Ga<sub>0.9</sub>N層102、n型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nクラック防止層103、n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nクラッド層104、n型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層105、発光層106、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nキャリアブロック層107、p型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層108、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nクラッド層109、p型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層1

10、n電極111、p電極112、 $\text{SiO}_2$ 誘電体膜113を含む。ここで、基板300には、前述の擬似GaN基板が使用される。基板上にこの素子の各層および電極を形成する方法は実施例1と同様である。

【0069】図4に示す窒化物半導体レーザ素子の製造において、リジストライフ部分は、少なくとも図2の206と207、または図3(b)の208と209を含まないように形成される。

【0070】低温GaNバッファ層101は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) で表される低温バッファ層であれば良く、一方、低温バッファ層自体が形成されなくても構わない。しかしながら、擬似GaN基板の表面フォロージが好ましくない場合は、低温 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  バッファ層 ( $0 \leq x \leq 1$ ) を設けた方が、表面フォロージが改善されて好ましい。

【0071】基板300として、上述した擬似GaN基板から研磨機で種基板201を剥ぎ取って得られるものを使用しても構わない。さらに、基板300として、上述した擬似GaN基板から低温バッファ層201以下の層を全て研磨機で剥ぎ取って得られるものを使用しても構わない。さらにまた、基板300として、上述した擬似GaN基板から成長抑制膜204以下の層を全て研磨機で剥ぎ取って得られるものを用いても構わない。擬似GaN基板から種基板201を剥ぎ取った場合、種基板を剥ぎ取った則にn電極111を形成しても構わない。また、種基板201は窒化物半導体発光素子が作製された後に剥ぎ取っても構わない。

【0072】実施例3

本実施例では、異種基板上に、窒化物半導体バッファ層を介して窒化物半導体レーザ素子が作製されたことと、図4のように片面側からn電極が形成されたこと以外は、実施例1と同様に窒化物半導体レーザ素子が作製された。そのようにして得られた窒化物半導体レーザ素子は、図4に示すような構造を有し、基板300、低温GaNバッファ層101 (膜厚25nm)、n型GaN層102、n型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  クラック防止層103、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  クラッド層104、n型GaN光ガイド層105、発光層106、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  キヤリアブロック層107、p型GaN光ガイド層108、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  クラッド層109、p型GaNコンタクト層110、n電極111、p電極112、 $\text{SiO}_2$ 誘電体膜113を含む。ここで、基板300はC面(0001)サファイア基板である。この素子の各層および電極は、実施例1と同様の成長方法およびプロセス工程を用いて作製される。

【0073】なお、基板300として、サファイア基板の代わりに、6H-SiC、4H-SiC、3C-SiC、Siまたはスピネル( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )等が用いられるとも構わない。ただし、SiC基板やSi基板は導電性基板であるため、図1のように基板の裏面側からn電極

が形成されても構わない。また、SiC基板やSi基板上に結晶性の良い窒化物半導体結晶を成長するためのバッファ層は、上述と同様の高温バッファ層である。

【0074】また、基板の主面となる面方位として、C面{0001}の代わりに、A面{11-20}、R面{1-102}、M面{1-100}または{1-101}面であっても構わない。また、上記面方位から2度以内のオフ角度を有する基板であれば表面フォロージが良好である。

【0075】実施例4

本実施例において、図5に示す窒化物発光ダイオード素子が提供される。図5に示す発光ダイオード素子は、C面(0001)を有するn型GaN基板600、低温GaN層602 (膜厚3 $\mu\text{m}$ 、Si不純物濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ )、発光層603 (5周期の $\text{Ga}_{0.2}\text{In}_{0.8}\text{As}_{0.2}\text{Sb}_{0.8}$  井戸層 (3.1nm)/GaN障壁層 (6nm))、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  キヤリアブロック層604 (膜厚20nm、Mg不純物濃度 $6 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ )、p型GaNコンタクト層605 (膜厚0.1 $\mu\text{m}$ 、Mg不純物濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ )、透光性電極606、p電極607、n電極608を含む。

【0076】本実施例では、n型GaN基板600の裏面側からHf/Alの順序でn電極608が形成された。このn電極材料の他に、Ti/Al、Ti/MoまたはHf/Al等が用いられるともよい。特に、n電極にHfが用いられるとn電極のコンタクト抵抗が下がるため好ましい。n型GaN基板600の裏面側からn電極を形成する代わりに、図4のように、ドライエッチング法を用いて、エピウエハのp電極側からn型GaN層602を露出させ、その上にn電極を形成しても構わない。p電極形成では、透光性電極606として厚7nmのPdを、p電極607としてAuを蒸着した。この透光性電極材料の他に、たとえばNi、Pd/Mo、Pd/Pt、Pd/Au、またはNi/Auが用いられるとも構わない。

【0077】また、窒化物半導体基板 (GaN基板600) の替わりに、実施例2で説明された擬似GaN基板が用いられるとも構わない。擬似GaN基板上に成長された窒化物半導体発光ダイオード素子の特性は、窒化物半導体基板上のそれとはほぼ同様である。また、異種基板上に、窒化物半導体バッファ層を介して窒化物半導体発光ダイオード素子が作製され得ることは言うまでもない。

【0078】実施例5

本実施例では、本発明が窒化物半導体スーパールミネセントダイオード素子に適用されたこと以外は上述の実施例と同じである。

【0079】実施例6

本実施例では、本発明による窒化物半導体発光素子 (窒化物半導体レーザ) が半導体光学装置 (たとえば光ビッ

クアップ装置など)に適用される。本発明による素子の井戸層には、As、PまたはSbのうち少なくとも1種類以上の元素Xが含有されている。この元素Xが井戸層中に含有されることによって、井戸層の電子とホールの有効質量が小さく、また、電子とホールの移動度が大きくなり得る。前者は少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分が得られることを意味し、後者は発光層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散により高速に注入されることを意味する。すなわち、現在報告されている、元素Xを井戸層に全く含まないInGaN系窒化物半導体レーザ素子と比べると、元素Xを井戸層に含む窒化物半導体レーザ素子は、閾値電流密度が低く、自励発振特性の優れた(雑音特性に優れた)半導体レーザであると考えられる。しかしながら、従来の、元素Xを含む井戸層の層厚では、この優位性が十分に発揮されていなかった。

【0080】本発明では、元素Xを含む井戸層の層厚を調整する事によって、この優位性である半導体レーザの低閾値電流密度の低減とそれに付随した高出力、高寿命化が実現され得ると共に、雑音特性の優れた半導体レーザが提供され得る。たとえば、本発明による青紫色(380~420nmの発振波長)窒化物半導体レーザを作製すると、現在報告されているInGaN系窒化物半導体レーザと比較して、レーザ発振閾値電流密度が低く、雑音にも強い半導体レーザを得ることが可能である。また、本発明による窒化物半導体レーザ素子は、高出力(たとえば50mW)、高温雰囲気中(たとえば60℃)で安定して動作し得るため、高密度記録再生用光ディスクに適したレーザである(発振波長が短ほど、より高密度に記録再生が可能となる)。

【0081】図6に、本発明による窒化物半導体半導体レーザ素子が用いられた光ピックアップ装置の概略図が示される。図6のレーザ光は、入力情報に応じて光変調器で変調され、レンズを通してディスク上に記録される。再生時は、ディスク上のビット配列によって光学的に変化を受けたレーザ光がスプリッターを通して光検出器で検出され、再生信号となる。これらの動作は制御回路にて制御される。レーザ出力は、通常、記録時30mWで、再生時5mW程度である。

【0082】本発明に係る窒化物半導体レーザ素子は、上記光ディスクの他に、レーザプリンター、バーコードリーダー、プロジェクター等の半導体光学装置にも利用可能である。

#### 【0083】実施例7

本実施例では、本発明に係る窒化物半導体発光素子(窒化物半導体発光ダイオード素子)が半導体発光装置(たとえば、表示装置と白色光源装置)に適用される。

【0084】本発明に係る窒化物半導体発光ダイオード素子は、少なくとも光の三原色(赤色、緑色、青色)の二つに利用されたディスプレイ表示装置として利用でき

る。さらに、本発明に係る窒化物半導体発光ダイオード素子は、光の三原色を用いた発光ダイオードの1つとして用いられ、白色光源装置としても利用され得る。あるいは、発光波長が紫外領域から紫色領域(380nm~440nm程度)である本発明に係る窒化物半導体発光ダイオード素子に、蛍光塗料を塗布して白色光源装置が作製され得る。この白色光源装置を用いることによって、従来の液晶ディスプレイに用いられてきたハロゲン光源に替わって、低消費電力かつ高輝度のバックライトとして利用できる。これは、携帯ノートパソコン、携帯電話によるマン・マシンインターフェイスの液晶ディスプレイ用バックライトとして利用でき、小型化、高鮮明な液晶ディスプレイを提供できる。

#### 【0085】

【発明の効果】上述したとおり、本発明によれば、窒化物半導体発光素子の閾値電流密度を低減することができ、あるいはその発光強度を向上させることができる。そのような発光素子は、上述したとおり、種々の光学装置および発光装置に有用である。

#### 20 【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例1のレーザ素子構造を模式的に示す断面図である。

【図2】 擬似GaIn基板の一例を模式的に示す断面図である。

【図3】 擬似GaIn基板のもう一つの例について、(a)は擬似GaIn基板を作製するためのエッチング工程を模式的に示す断面図、(b)はその完成した状態を模式的に示す断面図である。

【図4】 実施例2および3のレーザ素子構造を模式的に示す断面図である。

【図5】 実施例4の発光ダイオード構造を模式的に示す断面図である。

【図6】 光ディスク装置の概略図である。

【図7】 (a)は発光層が障壁層で始まり障壁層で終わる窒化物半導体発光素子のバンドギャップ構造を示す模式図であり、(b)は発光層が井戸層で始まり井戸層で終わる窒化物半導体発光素子のバンドギャップ構造を示す模式図である。

#### 【符号の説明】

100 n型GaIn基板、101 低温GaInバッファ層、102 n型GaIn層、103 n型InGaAs Nクラッド防止層、104 n型AlGaIn Nクラッド層、105 n型GaIn光ガイド層、106 発光層、107 p型AlGaIn Nキャリアブロック層、108 p型GaIn光ガイド層、109 p型AlGaIn Nクラッド層、110 p型GaInコンタクト層、111 n電極、112 p電極、113 誘電体膜、200、200a 擬似GaIn基板、201 種基板、202 低温バッファ層、203 n型GaIn層、203a 第1のn型GaIn膜、203b 第2の

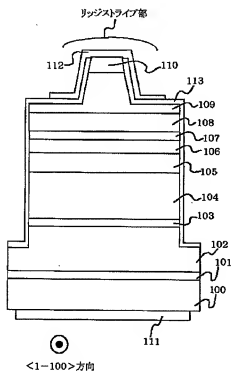
21

n型GaN膜、204 成長抑制膜、205 n型GaN厚膜、206 成長抑制膜の幅の中央直上、207 成長抑制膜が形成されていない部分の幅の中央直上、208 溝の幅の中央直上、209 溝が形成されていない部分（丘）の幅の中央直上、300 基板、600 \*

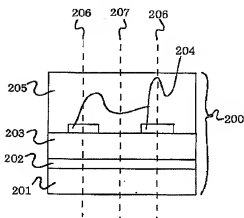
22

\* n型GaN基板、601 低温GaNバッファ層、602 n型GaN層、603 発光層、604 p型AlGaAs Nキャリアブロック層、605 p型GaNコンタクト層、606 透光性電極、607 p電極、608 n電極、609 誘電体膜。

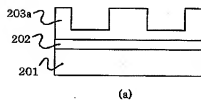
【図1】



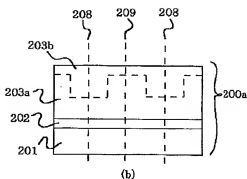
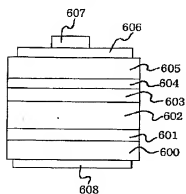
【図2】



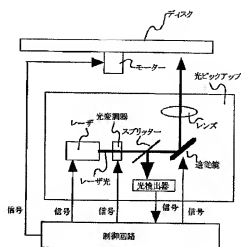
【図3】



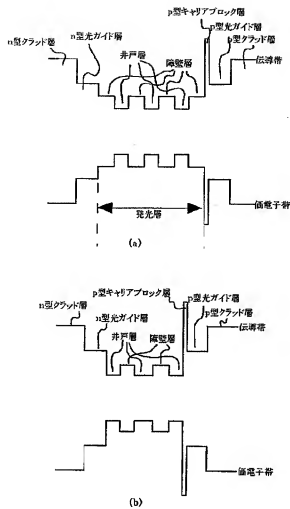
【図5】



【图6】



【図7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA40 CA49 CA57  
FF16  
5F073 AA04 AA45 AA55 AA74 BA06  
BA07 BA09 CA07 CB02 CB18  
DA05 DA24 DA32 EA07 EA23  
EA24